

УДК 528.8.04

Визначення зміщення бульбашок газу при спливанні з дна до поверхні моря з використанням супутникової інформації

В. І. Лялько, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман*

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Робота присвячена задачі пошуку покладів вуглеводнів на акваторії Чорного моря. Вивчаються температурні аномалії, які викликані підйомом газових бульбашок. Показано, що при підйомі газових бульбашок з морського дна до поверхні моря вони зміщуються під впливом морських течій по латералі на достатньо великі відстані (сотні метрів), що необхідно враховувати при пошуку і розвідці покладів вуглеводнів. Наведені основи методики врахування переміщення газових бульбашок під впливом течій.

Ключові слова: супутникові зйомки, тепловий і радіохвильовий діапазони супутникових зйомок, аномалії пониження температур поверхні моря, Чорне море, морські течії, батиметрія, шари моря, пряма і обернена задачі, спливання бульбашок газу, швидкості течій, зміщення потоків газових бульбашок під впливом течій

© В. І. Лялько, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман. 2015

Вступ

Важливим критерієм прогнозу нафтогазоносності в межах акваторії Чорного моря за допомогою аерокосмічних методів є прояви геофлюїдодинамічних процесів у вигляді плівок нафти на поверхні моря та аномалій пониження температури (АПТ) поверхні моря в теплий сезон за рахунок спливання бульбашок газу з дна моря [1–10].

Супутникові методи дозволяють одержувати зображення ділянок поверхні Землі різних розмірів з просторовим розрізненням від кількох метрів до 1.1 км. Наприклад, метеорологічний супутник NOAA дозволяє реєструвати зображення Землі з періодичністю 4 години, що дає змогу шляхом вимірів параметрів поверхні моря (в тому числі температури поверхні моря (ТПМ)) здійснювати моніторинг проявів геофлюїдодинамічних процесів у вигляді міграції газу і природної нафти з глибинних покладів [11].

Виділення на космічних знімках NOAA потужних газових факелів в районі Двуреченського грязьового вулкану (та власне і самих вулканів) дає надію на те, що при використанні знімків з більш високою розрізнувальною здатністю і подальшим вдосконаленням методик обробки і інтерпретації даних можна буде виявляти і більш слабкі виділення газів. Застосування методів ДЗЗ при вирішенні задачі пошуку ВВ суттєво відрізняють їх від вирішення цих же задач на суходолі. Для одержання достовірної інформації необхідні високоякісні космічні знімки, що вимагає дотримання ряду умов: таких як відсутність хмарності, безвітряна погода, спокійне море, мінімальність про-

явів гідрологічних процесів та висока розрізнувальною здатність.

При прогнозі положення покладів ВВ необхідно врахувати не тільки неперпендикулярність розривних порушень, вздовж яких відбувається міграція вуглеводнів з глибинних покладів до дна моря, але і зміщення АПТ за рахунок зсуву бульбашок газу течіями.

У даній роботі описані алгоритми і програми обчислення параметрів течій (швидкостей і напрямків), які є основою для впровадження нової супутникової технології пошуку покладів нафти і газу, що базується на визначенні і врахуванні зміщення супутникових аномалій відносно місць виділення вуглеводнів з дна моря. Нижче також наведені приклади застосування розроблених програм.

1. Первинні дані

Інформацію про швидкості течій у шарах морської товщі для заданого часу можна отримати за результатами обчислень прогностичної моделі у Чорноморському центрі Морського гідрофізичного інституту (МГІ) НАН України [8], який є частиною Міжнародної системи Європейських Центрів Морських Прогнозів у проекті MYOCEAN. Більш детальна інформація доступна за адресою у Інтернет: (<http://www.myocean.eu>).

Спеціалістами МГІ НАН України розроблена програма MCBROWSE, яка перетворює дані з цього сайту (швидкості течій, альтіметрія і т. п.) у форматі системи ASCII.

Дані про параметри течій (швидкості і напрямки) і температури в шарах морської товщі оновлюються кожні 3 години. Ці дані знаходяться у файлі NET.NC — цифровому файлі у кодах ASCII,

*ageixman@casre.kiev.ua

Таблиця

Інтервали глибин шарів моря

1	0–2,5 м	14	100–1125	27	900–1000 м
2	2,5–5 м	15	1125–125	28	1000–1100 м
3	5–10 м	16	125–150 м	29	1100–1200 м
4	10–15 м	17	150–175 м	30	1200–1300 м
5	15–20 м	18	175–200 м	31	1300–1400 м
6	20–25 м	19	200–250 м	32	1400–1500 м
7	25–30 м	20	250–300 м	33	1500–1600 м
8	30–40 м	21	300–400 м	34	1600–1700 м
9	40–50 м	22	400–500 м	35	1700–1800 м
10	50–62,5 м	23	500–600 м	36	1800–1900 м
11	62,5–75 м	24	600–700 м	37	1900–2000 м
12	75–87,5 м	25	700–800 м	38	2000–2100 м
13	87,5–100 м	26	800–900 м		

при цьому задається 38 інтервалів глибин шарів Чорного моря (Таблиця).

На даному етапі сітка спостережень гідрофізичних параметрів має розмір 5×5 км. В опис вхідних даних входять 5 гідрологічних параметрів: рівень моря (альтиметрія в точках), температура води в залежності від глибини, широтна компонента швидкості течії в залежності від глибини (вдвож широти), меридіональна компонента швидкості течії (на північ, вдвож паралелі) і солоність в промілі. Параметри повністю оновлюються один раз у три місяці (90 днів). Дані з архіву (тригодинні поля) зберігаються тільки 90 днів. Осереднені дані (на базі 12 годин) зберігаються три роки. У каталозі REANALIS зберігається архів даних з 1971 до 2011 роки. У цьому каталозі задається 35 рівнів глибини, а не 38 як для 3-х годинних даних. На сайті Myocean можна подивитись і вибрати космічні знімки, а потім зробити заказ на сайті LANDSCAPE. Його електронна адреса сайту: Myocean.eu.

На сайті http://www.Dvs.next.ua/index_ru.shtml виставлено необроблені космічні знімки (КЗ). Це сайт відділу дистанційних методів досліджень МПІ НАН України. Інформація оновлюється 5 разів на тиждень. На сайті приводиться таблиця супутників з датами та часом спостереження. На цьому сайті можна також подивитись та замовити карти температури поверхні води (космічні знімки у тепловому діапазоні).

Використовуються дані зйомок супутниками: MODIS, NOAA (наразі використовуються КЗ, зроблені з космічних апаратів (КА) NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19) і METOP (наразі використовуються знімки, зроблені з супутника METOP-2).

Для перегляду КЗ в меню сайту http://www.Dvs.next.ua/index_ru.shtml необхідно ввійти в “МОРСКОЙ ПОРТАЛ НККУ”. Цей сервіс призначено для простого доступу потенціальних користувачів до оперативних даних моніторингу. На цьому сайті зберігається інформація стосовно Чорного і Азовського морів. Архів даних включає супутникові дані та результати модельних розрахунків для сукупності параметрів морської поверхні.

2. Алгоритми і програми вирішення прямої і оберненої задач зносу вуглеводнів течіями у морській товщі

Для вирішення задач зносу бульбашок газу і пов'язаних з ними аномалій температури, а також плівок нафти на поверхні моря відносно місць виділень вуглеводнів з дна моря розроблено програмний комплекс. Цей програмний комплекс дозволяє вирішувати задачу трансформації файлів швидкостей течій в форматі .nc у набір карт швидкостей течій в північному та східному напрямках у *grid*-форматі та обчислювати та вводити поправки за зсув аномалій пониження температур та нафтових плям на поверхні моря відносно місця їх виділення з дна моря. Вирішується також пряма задача, у якій за точками виділення ВВ на дні моря та параметрами течій обчислюють положення АПТ та плівок нафти на поверхні моря. Обернена задача використовується для визначень положення точок виділення ВВ за АПТ та за плівками природної нафти на поверхні моря.

Пряма задача

Зсуви у напрямках X, Y і Z , які зазнають потоки бульбашок внаслідок дії на них морських течій, можна у першому наближенні записати у вигляді [5]:

$$X_j = \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{xi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (1)$$

$$Y_j = \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{yi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (2)$$

$$Z_j = \sum_{i=1}^{n_j} Z_i \quad (3)$$

У виразах (1)–(3) j — номер точки спостереження бульбашок газу, X_j, Y_j — зсуви газових бульбашок в процесі спливання в широтному та меридіональному напрямках відповідно для даної спостереженої точки, Z_i — товщина відповідного водного шару (див. табл.1), Z_j — глибина моря в даній точці виходу бульбашок, V_{ci} — вертикальна швидкість спливання газових бульбашок у шарі морської води з номером i , $V_{xi}(x_{ji}, y_{ji})$ — швидкість течії у i -ому шарі води у напрямку на схід, $V_{yi}(x_{ji}, y_{ji})$ — швидкість течії у i -ому шарі води з у напрямку на північ у визначеній точці j . Вираз $\frac{Z_i}{V_{ci}}$ визначає час, за який бульбашки газу проходять шар з номер

Обернена задача

Глибина продовження задається, виходячи зі значень карти рельєфу морського дна в даній точці в залежності від просторових метричних координат. В результаті продовження визначаються координати

$$X_j = X_{0j} - \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{xi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (4)$$

$$Y_j = Y_{0j} - \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{yi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (5)$$

У виразах (4)–(5) значення — координати точок в метрах, в яких спостережені бульбашки на поверхні моря. Інші величини мають той же сенс, що і у виразах (1)–(2).

На КЗ координати точок на поверхні Землі звичайно наведено в градусних (географічних) координатах — широта та довгота. Однак, внаслідок того, що швидкість морських течій і швидкість спливання бульбашок газу вимірюються у метрах за секунду, для реальних розрахунків необхідно узгодити одиниці виміру положення точок на поверхні моря та швидкості течій. Здається більш зручним перевести положення точок на поверхні моря з градусної міри в метричну, ніж переводити швидкості течій та швидкості спливання бульбашок у градусний вимір. Для ділянок з порівняно невеликими розмірами нема необхідності враховувати еліптичність Землі і тим більш враховувати те, що Земля має форму геоїда. Тому достатньо для нашої мети використовувати залежності, які пов'язують лінійні та градусні виміри у припущенні кулеподібної форми Землі.

Блок-схеми на рис. 1 та рис. 2 показують послідовність вирішення прямої і оберненої задач. Рис. 1 містить послідовність рішення прямої задачі, тобто знаходження точок, де можуть спостерігатися теплові аномалії або нафтові плями за точками виділення нафти та бульбашок газу з дна моря. Блок-схема на рис. 2 містить послідовність рішення оберненої задачі, тобто обчислення координат точок виділення бульбашок газу або нафти з морського дна за спостереженими температурними аномаліями та нафтовими плямами на поверхні моря.

3. Експериментальні дослідження впливу течій на зміщення бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря

Використання супутникових методів для пошуку покладів метану базується на виявленні АПТ верхнього шару моря, пов'язаних з виверженнями бульбашок газу з дна моря і спливанням їх до поверхні моря. При цьому відбувається процес газліфтингу - винос з дна до поверхні моря холодних придонних вод, що приводить до утворення АПТ поверхні моря у теплий сезон року. Прояви міграції газів з глибинних покладів вуглеводнів (ВВ) при достатніх обсягах вивержень газу з дна моря можуть реєструватись за допомогою супутникових методів, що дозволяє



Рис. 1. Блок-схема вирішення прямої задачі. Визначення координат точок аномалій понижених температур поверхні моря, що утворюються при виносі холодних природних вод бульбашками газу при спливанні з дна моря з врахуванням течій

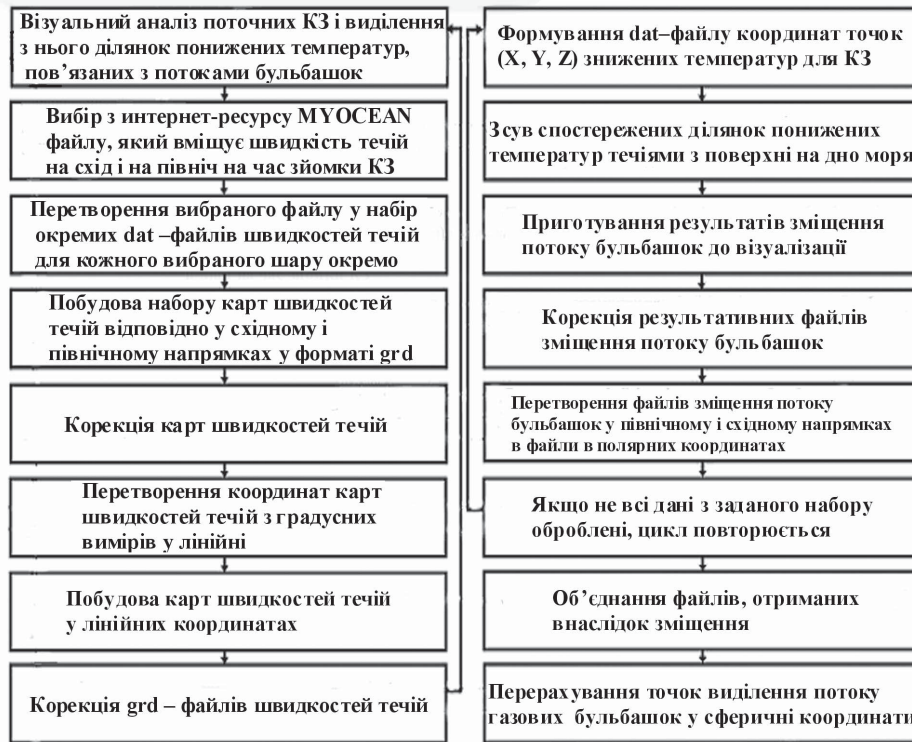


Рис. 2. Блок-схема вирішення оберненої задачі. Визначення координат точок виділення потоку газових бульбашок на морському дні за координатами спостережених на супутникових зображеннях аномалій понижених температур поверхні моря з врахуванням течій

виявляти ділянки для постановки детальних геофізичних робіт. З метою забезпечення ефективності виявлення виділень газу вибирають літній період часу, сприятливий як з точки зору більш простих і стабільних у часі моделей циркуляції морської товщі, так і сприятливий для фіксування контрасту фонових та аномальних температур. Період часу для проведення робіт на заданій площі пошуку покладів газу вибирають з урахуванням даних метеорологічних спостережень у попередні роки і прогнозу погоди на поточний рік.

У товщі моря діють течії, напрям і швидкості яких змінюються в залежності від часу, глибини і географічного положення ділянки моря [8,10]. Швидкості течій у береговій зоні Чорного моря не перевищують 20–30 см/с, а в області основної Чорноморської течії (шириною 40–80 км) швидкості течій на поверхні моря можуть досягати 40–50 см/с [2].

У глибоководній частині Чорного моря швидкості течій становлять 5–15 см/с і зменшуються з глибиною [8]. Течії у товщі моря приводять до зміщення АПТ поверхні моря відносно ділянки виверження метану за рахунок зносу бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря.

На рис. 3 наведено осереднену залежність зміни швидкості течій з глибиною. З цього рисунку видно, що найбільша по модулю швидкість течії споспроцес підйому бульбашок газу та зсуви потоків бульбашок в напрямі на північ та схід залишається досить значним.

На рис. 5 представлена залежність модулів швидкості морських течій від глибини для точок з координатами вздовж лінії 44.5 градуса північної широти. Точки лінії простягаються від 35.2 до 37.4 градусів східної довготи з кроком 0.1 градуса.

За результатами досліджень [8, 9] встановлено, що переважаюча частина бульбашок газу має швидкості підйому в діапазоні 0.2–0.3 м/с. Такі швидкості підйому мають бульбашки газу із радіусом від 1.2 до 20 мм [8]. При середній швидкості спливання бульбашок газу 0.2 м/с для підйому їх з глибини 500 м до поверхні моря необхідно 2500 с. У разі одношарової моделі моря і швидкості течії у ній 0.3 м/с зміщення місця спливання бульбашок газу на поверхню моря відносно місця їх виділення з дна моря може становити 750 м.

Ці обчислення свідчать про значні зміщення АПТ відносно місця виверження газу при наявності течій у морській товщі. Для кожної дати зйомок на КЗ виділяють прямокутну область моря, для якої обчислюють моделі циркуляції і відповідні параметри швидкості течій, задають географічними координатами кутів області пошукових робіт. При цьому задають рік, місяць, дату, і час зйомки КЗ, а також швидкості і товщину кожного з шарів моделі циркуляції. Моделі циркуляції морської товщі обчислюють на основі квазіоперативного моніторингу гідрофізичних полів [8].

Для заданої прямокутної ділянки кожного КЗ обчислюють карту температур (КТ). Зміщення пікселів для кожної карти визначають за значеннями на-

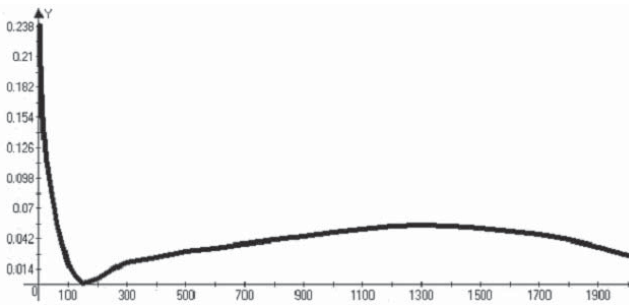


Рис. 3. Осереднена залежність змін модулів швидкості течій з глибиною. Вісь Y — швидкості у метрах за секунду, X — глибина в метрах

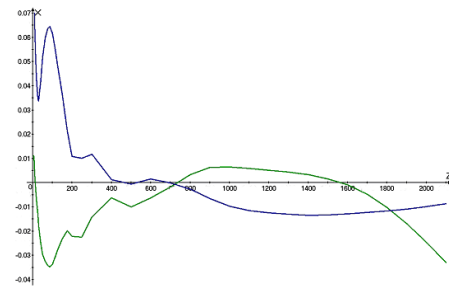


Рис. 4. Залежності швидкості морських течій від глибини у точці з координатами 44.25 градусів північної широти і 37.55 градусів східної довготи на час 00.00 годин 01.06.2013. Зеленим кольором показано графік залежності значень східної складової швидкостей течій від глибини, синім — північної складової швидкостей течій. Вісь Y — швидкість течій у метрах за секунду, вісь Z — глибина в метрах

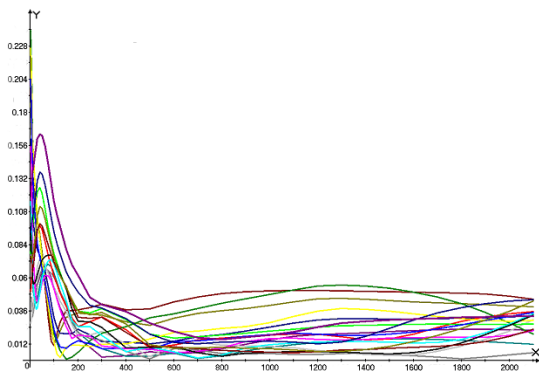


Рис. 5. Залежності модулів швидкості течій від глибини моря для точок з координатами вздовж лінії 44.5 градуса північної широти на час 00.00 годин 01.06.2013 р. Точки знаходяться на лінії, яка простягається від 35.2 до 37.4 градусів с. д. з кроком 0.1 градуса. Координата x — глибина моря в метрах, y — модуль швидкості в метрах за секунду. Під рисунком наведені кольори графіків і координати точок спостереження

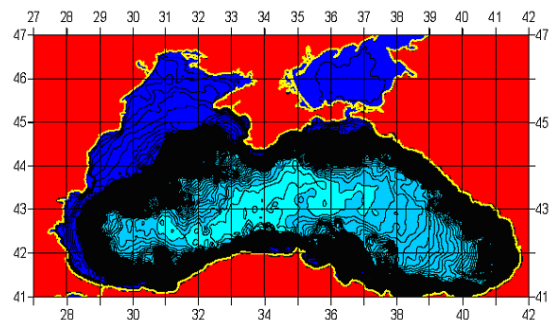


Рис. 6. Карта Чорного моря. Латеральні координати наведені в градусах. Червоним кольором показано суходіл. Синіми та блакитними кольорами показано акваторію Чорного та Азовського морів в залежності від глибини. Жовтим кольором показана берегова лінія.

прямків і швидкостей течій, які обчислюють за параметрами відповідної моделі циркуляції. Загальний знос течіями бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря дорівнює сумі зносів у кожному з N шарів морської товщі за формулами (4) і (5).

Необхідно зазначити, що напрямки течій та їх абсолютні величини ми представляємо у вигляді GRD-файлів, які зручно представити у вигляді векторних карт. Як вже було зазначено вище, є можливість побудувати карти швидкостей течій на 38 рівнях в діапазоні глибин від 0 до 2100 м.

На рис. 6 наведено карту батиметрії Чорного моря, на якій географічні координати задані у градусах. Приклади векторних карт течій для центральної частини Чорного моря в шарах 0–2.5 м, 40–50 м та 87.5–100 м відповідно наведено на рис. 7, рис. 8 та рис. 9. На цих рисунках стрілками показано напрям течій, а довжина стрілки вказує на абсолютну величину цих течій.

Не зважаючи на те, що застосована сітка вимірів дуже груба (сітка приблизно 5 на 5 кілометрів), можна спостерігати досить складний характер течій у Чорному морі і значну зміну як напрямків цих течій, так і їх величину. На наведених рисунках можна також спостерігати фрагменти Основної Чорноморської течії, вздовж якої швидкості течій досяга-

ють максимальної величини. Можна спостерігати як лінійний напрям течій (наприклад, фрагменти Основної Чорноморської течії), так і значну кількість замкнених, колових течій, так званих рингів, (не менше 5–6). Далі буде показано, як наведені течії впливають на зміщення бульбашок газу.

На всіх наведених вище і надалі картах значення швидкості та напрямків течій відносяться до точки початку відповідного вектора. Значення швидкостей течій відображаються довжиною вектора.

З урахуванням швидкостей течій зміщення точок, де ці бульбашки газу можуть бути спостережені на поверхні моря, відносно точок їх виділення на дні моря, наведено на рис. 10. Для цього експерименту розглянуто випадок коли лінія виділення газових бульбашок лежить на морському дні на південь від Криму. Точки виділення бульбашок газу лежать на широті 43.25 градуса північної широти. Ці точки розташовані від 34.5 градусів східної широти до 39.0 градусів східної широти з кроком 0.1 градус. Можна бачити, що діапазон зміщень за довготою лежить у межах 0.01 градуса відносно точки виділення газу на морському дні.

З рис. 10 видно, що найбільша величина зміщення бульбашок газу становить 400 метрів. В першому модельному експерименті будемо вважати, що точ-

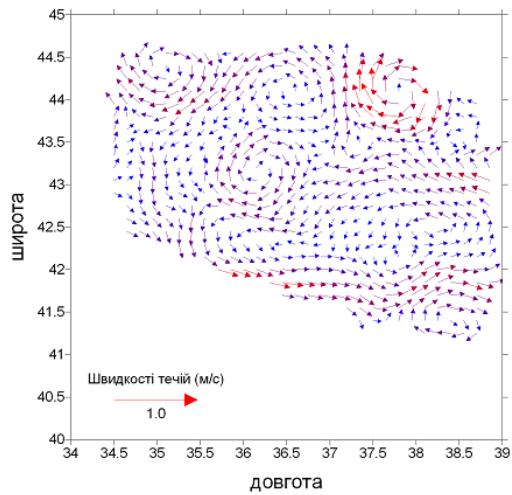


Рис. 7. Карта швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 0–2.5 м. Латеральні координати наведені в градусах, а швидкості течій — у метрах за секунду

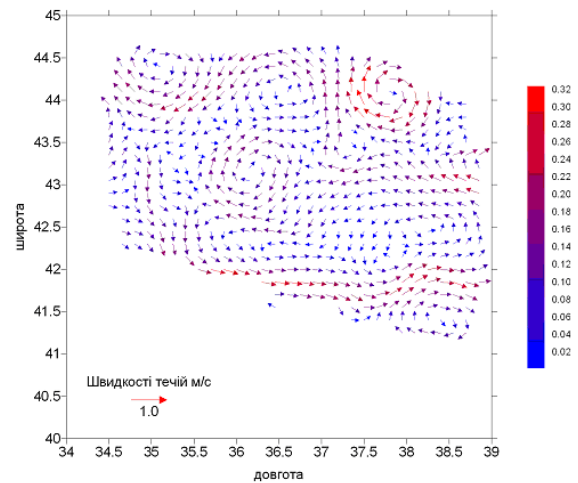


Рис. 8. Карта швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 40–50 м. Латеральні координати наведені в градусах, швидкості течій — у метрах за секунду

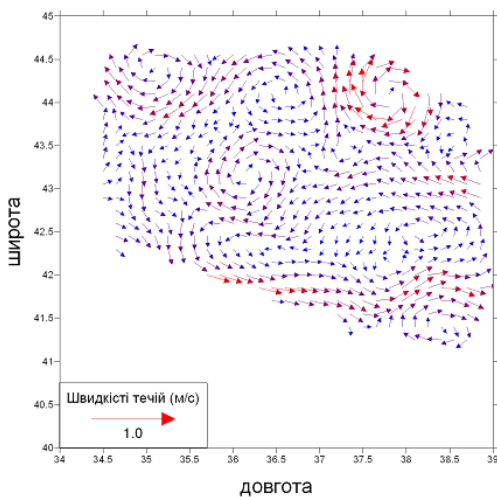


Рис. 9. Карта швидкостей течій на 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 87.5–100 м. Латеральні координати наведені в градусах, швидкості течій — у метрах за секунду

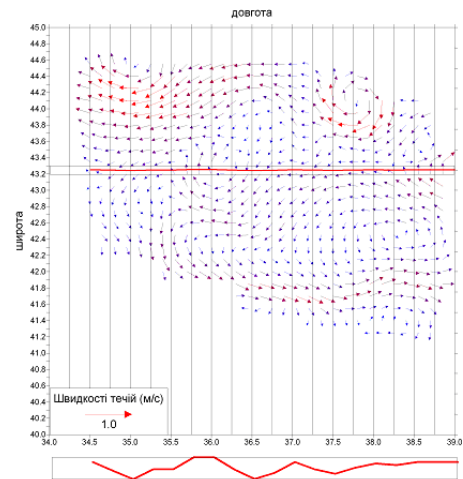


Рис. 10. Карта зміщення бульбашок газу в інтервалі глибин 0–2.5 метри. Швидкості течій дані у метрах за секунду. Латеральні координати і зміщення бульбашок газу наведено в градусах. На нижньому рисунку зміщення бульбашок газу дані у збільшеному масштабі. Діапазон їх зміщень лежить у межах 0.01 градуса. Використані карти швидкостей течій на 00.00 годин 01.06.2013

ки виділення бульбашок газу з морського дна, з урахуванням гіпсометрії морського дна, знаходяться на лінії 43.25 градуси північної широти. Також будемо вважати, що бульбашки газу мають близькі діаметри і мають приблизно однакові швидкості спливання — приблизно 0.2 метри за секунду.

На рис. 11 зміщення газових бульбашок наведено в метрах. Можна бачити, що для цієї лінії точок інтервал значень зміщень бульбашок газу по латералі в процесі їх підйому з морського дна до поверхні моря знаходиться в інтервалі від – 400 м до 400 м.

З аналізу наведених вище карт зміщень можна зробити висновок про те, що зміщення бульбашок газу і пльок нафти відносно місць їх вивержень на дні моря залежать від глибини моря і швидкості течій у шарах відповідної ділянки моря.

Для даного чисельного експерименту будемо вважати, що кожна точка морського дна є точкою

виділення газових бульбашок. На рис. 13 наведено зміщення газових бульбашок, які останні зазнали в процесі спливання з морського дна з урахуванням морських течій. Як відмічалось, поведінка морських течій досить складна, і з глибиною напрям цих течій може мінятися у широкому діапазоні.

З рис. 12 видно, що найбільші зміщення бульбашок газу спостерігаються в межах Основної Чорноморської течії та у північно-східній (російській) частині Чорного моря. Цей висновок стосується часу та дати спостереженого поля швидкостей морських течій (00.00 за Гринвічем на дату 01.06.2013 року).

З рис. 12 видно, що карта зміщень бульбашок газу має складний вигляд. Зокрема, на ній спостерігаються ділянки, де зміщення бульбашок газу майже відсутні. Можливо, для цих ділянок не треба враховувати зміщення газових бульбашок, але необхідно

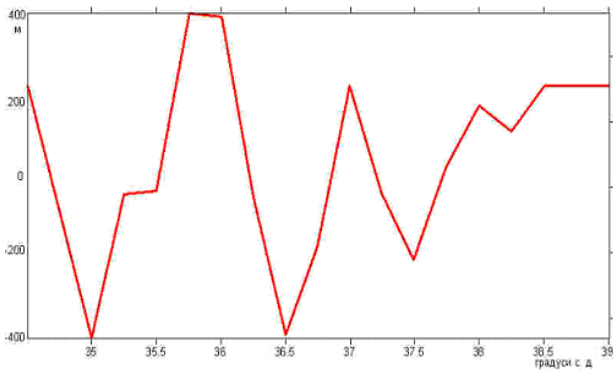


Рис. 11. Зміщення бульбашок газу в процесі спливання з дна до поверхні моря. Величина зміщень наведена у метрах. Використані карти швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року

виявляти ці ділянки. На деяких ділянках течії мають складну форму, на деяких — близьку до лінійної. Ці ефекти виникають, можливо, внаслідок різного напрямку зміщень бульбашок газу у різних шарах морської води.

Висновки і рекомендації

Враховуючи періодичність процесів вертикальної міграції ВВ, для підвищення надійності прогнозу нафтогазоносності необхідно обов'язково застосовувати супутниковий моніторинг — періодичну реєстрацію супутникових зображень моря у різних спектральних діапазонах (тепловому, видимому і радіохвильовому), що дозволяє виявляти зміни фізичних характеристик морської поверхні і приповерхневого шару морської товщі, які можуть бути пов'язані з проявами міграції ВВ з глибинних покладів нафти і газу. При нафтогазопошукових роботах на морі рекомендуються наступні етапи робіт:

Виявлення газоперспективних ділянок рекомендується проводити за допомогою наведених нижче процедур:

- обробка і накопичення рядів зображень супутника NOAA, зареєстрованих у тепловому діапазоні і виділення аномалій середнього пониження температур поверхні моря в теплі сезони року;
- статистичний аналіз і сегментація теплових зображень високого просторового розрізнення за зображеннями Landsat (за наявності цих супутникових зображень);
- обчислення карт частот аномалій зниження температур поверхні моря (за рядами зображень супутника NOAA);
- перевірка супутникових аномалій пониження температур поверхні моря за рахунок газових виділень за допомогою гідроакустичного профілювання;

Визначення місця розташування нафтогазоносних об'єктів виконується за комплексом інформації — за супутниковими аномаліями, часовими сейсмоакустичними і сейсмічними розрізами. шля-

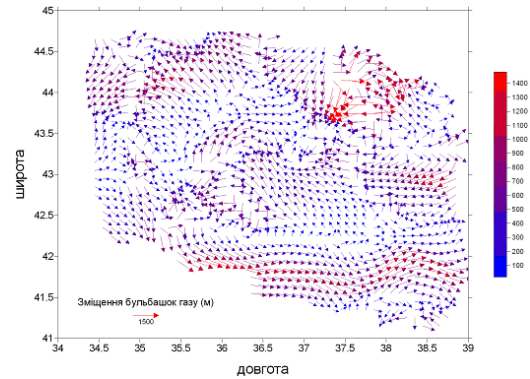


Рис. 12. Карта зміщення бульбашок (в метрах), якщо вважати кожену точку морського дна джерелом виділення бульбашок газу. Зміщення наведені в метрах, латеральні координати — в градусах

хом простежування зверху вниз з урахуванням кутів нахилу розривних порушень і їх простеження до глибин залягання продуктивних горизонтів.

Виявлення ділянок виділень природної нафти за радіохвильовими зображеннями включає такі етапи:

- створення бази даних нафтових забруднень різної природи;
- виявлення ділянок виділень природної нафти із дна моря за радіолокаційними зображеннями;
- врахування зносу плівок нафти течіями за картами напрямків і швидкостей вітру (за даними зйомок скаттерометрами (QuickSCAT) та супутників ERS або RADARSAT);
- обчислення і інтерпретація карт щільності плівок нафти на поверхні моря з урахуванням геолого-геофізичної інформації.

Детальне вивчення систем розривних порушень у верхній частині геологічного розрізу включає:

- сейсмоакустичне профілювання (на частотах 60–300 Гц) на ділянках з виявленими супутниковими аномаліями;
- простеження розривних порушень на ділянках виділень нафти й газу на глибину залягання нафтогазоперспективних горизонтів на основі інтерпретації сейсмоакустичних і сейсмічних часових і глибинних розрізів.

Комплексна інтерпретація супутникової й геолого-геофізичної інформації включає прогноз покладів нафти й газу й підготовку рекомендацій на буріння глибоких свердловин з використанням інтегрованих карт на основі геоінформаційних технологій (ГІС-технологій). Особлива увага приділяється створенню й використанню векторних шарів розривних порушень, характеристик приводного вітру, напрямків і швидкостей течій, маршрутів інтенсивного руху судів та інші, які використовуються при визначенні природи нафтових плівок на поверхні моря.

Вибір перспективних напрямків робіт у регіоні рекомендується на основі комплексного аналізу супутникової і геолого-геофізичної інформації, За

результатами аналізу супутникової інформації визначаються місця найбільш значних за об'ємами виділень газу й просочувань нафти з дна моря. На основі аналізу сейсмічної інформації визначаються шляхи міграції ВВ, положення в геологічному розрізі геологічних структур і пасток вуглеводнів.

Пошук ділянок газонасності виконується за аномаліями пониження температур поверхні моря. Ці аномалії утворюються за рахунок виносу холодних придонних вод газами, що мігрують із глибинних покладів ВВ. Використання багаторазових зйомок і обробка зображень, зареєстрованих у тепловому діапазоні, дозволяє підвищити ефективність супутникових методів виділення аномалій, пов'язаних з міграцією ВВ з глибинних покладів газу. Обробка зображень виконується з використанням процедур інтерактивного накопичення зображень, зареєстрованих у тепловому діапазоні, побудови карт частот аномалій температурного поля і їхньої спільної інтерпретації.

Пошук ділянок нафтоносності базується на виявленні на поверхні моря за радіохвильовими зображеннями плівок природної нафти, які утворюються за рахунок її просочування із глибинних покладів і включає обробку матеріалів зйомок у радіохвильовому діапазоні, виявлення ділянок моря з підвищеною щільністю плівок природної нафти, за якими прогнозують положення перспективних об'єктів.

Для підвищення ефективності нафтогазопішукових робіт необхідно використовувати супутникові знімки з високим просторовим розрізненням і забезпечувати кратність покриття зйомками, необхідну для виявлення малих за обсягами вивержень вуглеводнів з дна моря на ділянці робіт. Для підвищення ефективності виявлення покладів ВВ необхідно визначати і враховувати зсув аномалій течіями потоку ВВ із дна до поверхні моря за допомогою розроблених способів, алгоритмів і програм, що дозволяє накопичувати ряди супутникових зображень, зареєстрованих у різні періоди часу на основі врахування змін у моделях циркуляції моря і параметрах течій.

Література

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. За ре-

дакцією В. І. Лялька і М. О. Попова. Київ, Наукова думка, 2006. — 357 с.

2. Блатов А. С., Иванов В. А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря / А. С. Блатов, В. А. Иванов. — Киев: Наукова думка, 1992. — 244 с.
3. Патент України на винахід № 77811. Спосіб пошуку нафтогазоносних об'єктів на морському шельфі / Воробйов А. І., Лялько В. І., Попов М. О.; опубл. 15.01.2007. Бюл. № 1.
4. Патент України на винахід № 94322. Спосіб пошуку покладів газу на морі / Воробйов А. І., Лялько В. І.; опубл. 26.04.2011. Бюл. № 8.
5. Патент України на винахід № 104515. Спосіб виявлення покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Лялько В. І., Коротаев Г. К., Воробйов А. І., Ратнер Ю. Б., Холод А. Л., Гейхман А. М.; опубл. 10.02.2014. Бюл. № 3.
6. Патент України на винахід № 107124. Спосіб пошуку покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Воробйов А. І., Лялько В. І., Гейхман А. М.; опубл. 25.11.2014. Бюл. № 22.
7. Геолого-структурно-термоатмогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії / П. Ф. Гожик, І. Д. Багрій, З. Я. Войцицький, В. В. Гладун та інші. — К: Логос, 2010. — 419 с.
8. Дорофеев В. Л., Коротаев Г. К., Мартынов М. В., Ратнер Ю. Б. Система мониторинга гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме // Экологична безпека прибережної і шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. праць. Вип. 11 / НАН України, МГІ, ІГН, ОФ ІнБЮМ, редкол.: Иванов В. О. (гол. ред) та інші. Севастополь, 2004. — С. 9–23.
9. Метановые сипы в Черном море. Средообразующая и экологическая роль / Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. / Под. Ред. Г. Г. Поликарпова. — Севастополь: НПП ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. — 405 с. Ил. 156. Табл. 21.
10. Океанология: средства и методы океанологических исследований / Смирнов Г. В., Еремеев В. Н., Агеев М. Д., Коротаев Г. К., Ястребов В. С., Мотыжев С. В.; Междунар. асоц. акад. наук; РАН; Нац. акад. наук Украины. — М.: Наука, 2005. — 795 с.
11. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых // Под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялько и д-ра техн. наук М. А. Попова. Киев: Карбон. — Лтд. 2012. — 436 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА ПРИ ВСПЛЫТИИ СО ДНА ДО ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В. И. Лялько, А. И. Воробьев, А. М. Гейхман

Работа посвящена задаче поиска ловушек углеводородов на акватории Черного моря. Изучаются температурные аномалии на поверхности моря, связанные с подъемом газовых пузырьков с морского дна. Показано, что в процессе подъема пузырьков газа с морского дна до поверхности моря они смещаются под влиянием морских течений по латерали на достаточно большие расстояния (сотни метров), что необходимо учитывать при поисках и разведке месторождений углеводородов на акватории. Приведены основы методики учета сноса газовых пузырьков под влиянием течений.

Ключевые слова: спутниковые снимки, тепловой и радиоволновой диапазоны спутниковых снимков, аномалии по-

нижения температур поверхности моря, Черное море, морские течения, батиметрия, скоростные слои моря, прямая и обратная задача, географические координаты, всплывание пузырьков газа, скорости течений, смещение потоков газовых пузырьков под влиянием течений

DEFINITION OF DISPLACEMENT OF GAS VIALS AT EMERGING FROM A BOTTOM TO A SEA SURFACE WITH USING OF SATELLITE INFORMATION

V. I. Lyalko, A. I. Vorobiev, A. M. Geykhman

The work is devoted to the problem of finding hydrocarbon traps in the waters of the Black Sea. Temperature study on the sea surface anomalies associated with the gas bubbles rise from the seabed. It is shown that in the process of raising the gas bubbles from the seabed to the surface of the sea, they move under the influence of ocean currents laterally relatively long distances (hundreds of meters) that must be considered in prospecting and exploration of hydrocarbon deposits in the area. Shows the basic methods of accounting demolition of gas bubbles under the influence of currents.

Keywords: satellite imagery, thermal and radio band satellite imagery, anomalies in sea surface temperatures decrease, the Black Sea, sea currents, bathymetry, high-speed layers of the sea, direct and inverse problems, geographic coordinates, floating bubbles of gas flow velocity, displacement flow bubbles of gas under the influence of currents